

## カルシア人工石の効果的な製造方法

五洋建設（株） 正会員 ○泉 総  
同 正会員 野中 宗一郎  
同 正会員 田中 裕一

## 1. 目的

近年天然石材の高騰により、カルシア人工石が注目されている。カルシア人工石は浚渫土とカルシア改質材（原材料：転炉系製鋼スラグ）、結合材としてセメントまたは高炉スラグ微粉末を使用したものである<sup>1)2)</sup>。準硬石相当  $9.8\text{N/mm}^2$  以上の強度の発現が可能であり、藻礁石や裏込石等として使用されている。また、製鋼スラグや高炉スラグ微粉末は産業副産物のため、 $\text{CO}_2$  排出量原単位が小さく、コンクリートブロックと比較して人工石製造時の  $\text{CO}_2$  排出量の抑制が可能である。

一方で、従来の人工石の製造方法では、多くの工程が必要であり、製造コストが高いことが課題となっている。そこで、効率的かつ低コストを実現可能な製造方法を考案し、強度発現特性や環境に与える影響を確認するための配合試験を行い、製造費用と  $\text{CO}_2$  排出量について試算を行った。

## 2. 製造方法の検討

従来の製造方法と新たな製造方法を図-1 に示す。従来の製造方法では、浚渫土の解泥・調泥後に材料の混合、材料の型枠への打設、脱型・破碎、養生、海上運搬が必要となる。これに対し、新たな製造方法は、型枠への打設・陸上での養生を省き、固結前の材料を水中に投入し、水中での強度発現を図るものである。このため、製造工程の簡略化とコストダウン、 $\text{CO}_2$  排出量の削減が可能となる。

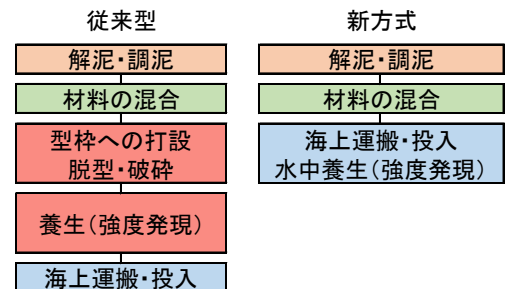


図-1 施工フロー

## 3. 配合試験

## (1) 試験方法

浚渫土とカルシア改質材の性状を表-1 に示す。浚渫土とカルシア改質材、セメント（高炉 B 種  $3.04\text{g/cm}^3$ ）、高炉スラグ微粉末（ $2.91\text{g/cm}^3$ ）フライアッシュ（JIS II 種  $2.10\text{g/cm}^3$ ）を表-2 に示す割合で配合した。全てのケースで浚渫土の含水比は 200%、カルシア改質材の混合率は 50vol% とし、材料の水中投入後に形状維持が可能なように、スランプが小さくなるように配合を設定した。Φ50×H100 の供試体を作成し 20°C で室内養生し 7 日、28 日、91 日後に強度試験を行った。また、10L の塊を作成し、3 時間後に水中に投入して 27 日間養生し、コアを採取して Φ50×H100 の供試体を作成して強度試験を行った（図-2）。

表-1 浚渫土とカルシア改質材の性状

浚渫土					カルシア改質材		
土粒子密度 $\text{g/cm}^3$	含水比 %	液性限界 %	細粒分含有率 %	強熱減量 %	表乾密度 $\text{g/cm}^3$	最大粒径 mm	f-CaO %
2.643	139.4	120.6	98.4	9.7	3.17	5	2.54

表-2 配合条件

CASE	強度 指数	配合				
		浚渫土 $\text{kg/m}^3$	カルシア 改質材 $\text{kg/m}^3$	セメント $\text{kg/m}^3$	高炉スラグ 微粉末 $\text{kg/m}^3$	フライアッ シュ $\text{kg/m}^3$
1	1.3	648	1143	362		
2			919		560	
3			834	300		200
4			823		525	100

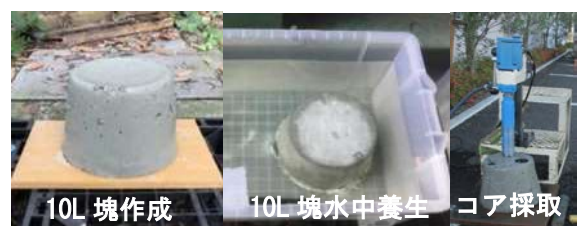


図-2 水中養生試験状況

キーワード 浚渫土、カルシア改質材、カルシア人工石、 $\text{CO}_2$  排出量

連絡先 〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8 五洋建設株式会社 環境事業部 TEL 03-3817-7521

## (2) 配合試験結果

配合試験結果を表-3に示す。圧縮強度は、セメントを配合したCASE1,3の発現強度が大きく、室内養生では $\sigma_{28}$ で準硬石相当である $9.8\text{N/mm}^2$ を超過した。 $\sigma_{28}$ の室内と水中の強度と比較をすると、強度比が58%~88%（平均73%）となった。CASE3の水中養生では、 $\sigma_{91}$ の計算上の強度が、室内の圧縮強度 $17.2 \times 0.58$ （強度比） $=10.1$ になり、 $9.8\text{N/mm}^2$ を超過すると推定される。また、人工石の材料由来の $\text{CO}_2$ 排出量は、コンクリートと比較して小さく、この傾向は高炉スラグ微粉末を使用したCASE2,4で顕著であった。pHは鉄連法にて試験を行った結果、全てのCASEで水質汚濁防止法の排水基準9.0以下となった。

表-3 配合試験結果

CASE	スランプ cm	pH	圧縮強度 N/mm <sup>2</sup>				$\sigma_{28}$ 強度比 (水中/室内強度)	CO <sub>2</sub> 排出量	
			$\sigma_7$ 室内	$\sigma_{28}$ 室内	$\sigma_{91}$ 室内	$\sigma_{28}$ 水中		材料由来※1 kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>	コンクリートに 対する比率※2 %
1	3.2	8.4	9.8	10.6	11.7	8	0.75	164	52
2	0.7	8.3	4.3	8.8	8.9	7.8	0.88	25	8
3	0.3	8.4	7.3	11.6	17.2	6.8	0.58	141	45
4	0.5	8.3	3.8	9.8	12.8	6.8	0.69	25	8

※1 製鋼スラグ:2.9kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>(松永ら,2003)、セメント:443kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>(セメント協会,2021)  
 フライアッシュ:19.6kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>(土木学会,コンクリートの環境負荷評価(その2),2012)、高炉スラグ微粉末:40-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>(エスメントバンフレット)として計算  
 ※2 生コンクリート:316kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>として計算3)

## 4. 施工単価・CO<sub>2</sub>排出量の試算

配合試験のCASE3の配合の人工石50000混合m<sup>3</sup>を製造することを想定した。各作業における主要な使用機械を表-4に記す。バックホウは全て山積0.8m<sup>3</sup>、ホイールローダは3.1m<sup>3</sup>、不整地運搬車はクローラ型10t積級、ダンプトラックは10tを使用した。人工石投入は、従来型は鋼D5.5m<sup>3</sup>岩盤用スパッド式、新方式は鋼D5m<sup>3</sup>普通地盤用アンカー式のグラブ浚渫船を使用した。

従来型と新方式の施工単価とCO<sub>2</sub>排出量の比較を表-5と図-3に示す。施工費用は、「港湾土木請負工事積算基準」に基づき、直接工種のみで試算を行った。

また、従来型の人工石の空隙率は40%、固化前投入の新方式では投入時に材料が変形して空隙が小さくなることを想定し、空隙率10%として計算を行った。CO<sub>2</sub>排出量は燃料使用量×原単位の計算式により算出した<sup>3)</sup>。

試算の結果、従来型と比較して新方式では施工日数が17%減少、施工単価が26%低下した。CO<sub>2</sub>排出量は、新方式では74%の低減が可能であった。

## 5. まとめ

新方式ではpHが顕著に上昇することはなく、水中/室内強度比を設定することにより、目標強度を達成可能であると考えられる。また、人工石の製造工程が減ることから、工期短縮と施工単価の低減、CO<sub>2</sub>排出量の抑制が可能となった。

## 参考文献

- 辻匠, 田中裕一, 中川雅夫, 野中宗一郎, 長尾喬平, 赤司有三, 木曾英滋, 田崎智晶: 浚渫土人工石の材料特性と製造技術, 土木学会論文集B3(海洋開発), vol.71, No.2, pp.1173-1178, 2015.
- 港湾・空港・海岸・水産基盤整備工事等におけるカルシア人工石・カルシアブロック利用技術マニュアル(案),カルシア改質土研究会,H29.3
- 環境省: サプライチェーンを通じた組織の温室効果ガス排出等の算定のための排出原単位データベース(Ver.3.2),2022.3

表-4 主要な使用機械

作業項目	使用機械
解泥・調泥	バックホウ、解砕選別機 送泥ポンプ、発動発電機
混合	連続式改良プラント、バックホウ 発動発電機
打設・脱型・破碎 転地・仮置・養生	バックホウ×7、不整地運搬車×6 ホイールローダ×3、ダンプトラック×10
海上運搬・投入	グラブ浚渫船、揚錨船、土運船、押船

表-5 施工単価比較

項目	従来型	新方式	減少率
施工能力 m <sup>3</sup> /日	250	300	-
稼働日数 日	200	167	-17%
施工数量空隙込 空m <sup>3</sup>	83,333	55,556	-
施工単価 円/空m <sup>3</sup>	23,000	17,000	-26%
CO <sub>2</sub> 排出量 t-CO <sub>2</sub>	2,700	700	-74%

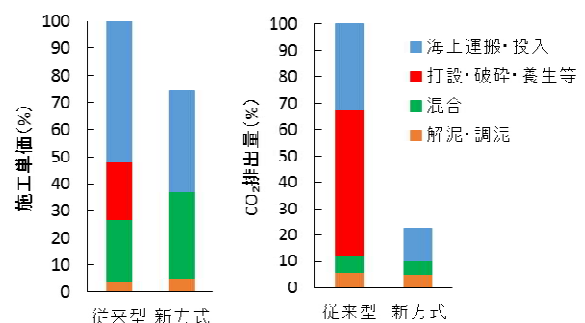


図-3 施工単価とCO<sub>2</sub>排出量